

REDUCCIÓN DE LA FRICCIÓN EN DUCTOS

ALEJANDRO RODRÍGUEZ VALDÉS,
ARTURO PALACIO PÉREZ
Y JOSÉ ENRIQUE GUZMÁN VÁZQUEZ

Para atender la problemática de la producción y transporte de crudo pesado, el Instituto de Ingeniería tuvo la iniciativa junto con la empresa Geoestratos, de crear el Centro de Investigación de Crudo Extrapesado y Recuperación Mejorada (CICERM), en el marco del proyecto financiado por el fondo sectorial CONACYT-SENER-Hidrocarburos para investigar en cinco años (en dos etapas) la factibilidad técnica y económica de un aditivo (BRV) que reduce el arrastre (fricción) en ductos, tanto en flujo monofásico como bifásico. Dicho centro se ubica en la carretera Mérida-Progreso como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Ubicación y vista general del Centro de Investigación de Crudo Extrapesado y Recuperación Mejorada (CICERM) en Mérida, Yucatán

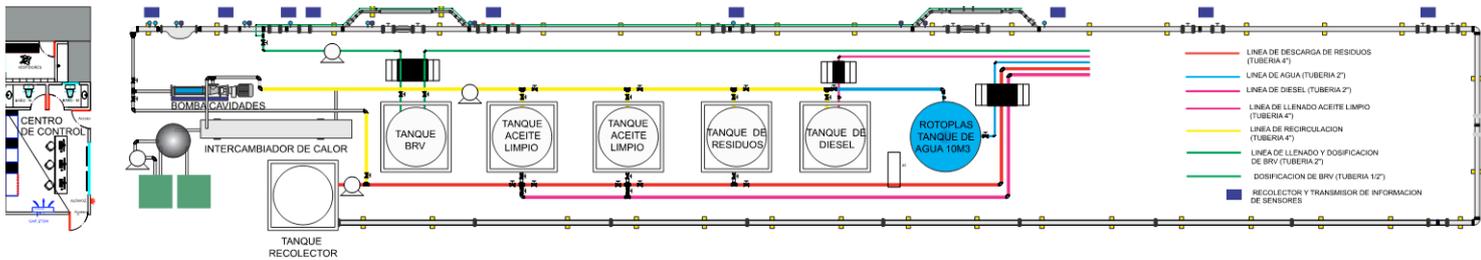


Figura 2. Circuito de 8" con tanques, bomba de cavidades progresivas, cambiador de calor y sección de toma de muestras compuesta por un haz de siete tubos de 1"



Figura 3. Circuito automatizado (*Flow-Loop*) de $\frac{1}{2}$ y 1" para cuantificar el efecto de reducción de arrastre de aditivos

Se aprecia la construcción de la primera nave del Centro que alberga el primer circuito de 8" de diámetro y 100 m de longitud para el desarrollo de la primera etapa del proyecto con flujo monofásico. Cabe enfatizar que en el CICERM se puede implementar el protocolo de pruebas con crudo pesado, lo cual no es factible en el laboratorio del Instituto de Ingeniería. Sin embargo, en un laboratorio de Ciudad Universitaria se construyó un circuito de 3" y 50 m de longitud para analizar el fenómeno (mono y bifásico) con glicerina/glucosa como fluidos representativos de alta viscosidad.

El Centro se equipó con instrumentación de vanguardia para determinar las propiedades del crudo y disponer de datos para compararlos con los resultados de los modelos matemáticos desarrollados. Esta instrumentación consiste de un reómetro, un densímetro y un equipo PVT, así como cromatógrafos

para el análisis de los fluidos. También se implementó un circuito de media y una pulgada para determinar de manera automatizada el efecto de un reductor de arrastre considerando un rango de temperaturas de 5 a 60 grados Celsius.

Se llevaron a cabo pruebas de reducción de viscosidad del crudo de alta viscosidad para diferentes dosificaciones del BRV en el circuito de 8". Previamente se determinó con el reómetro la variación de viscosidad tanto con el incremento de temperatura como con la concentración volumétrica de BRV que se agrega a la muestra de crudo. Por ejemplo, una dosificación de 5% reduce la viscosidad de 90 a 30 Pa-s para una temperatura de 30 °C {nota: 1 mPa-s = 1 cP (centi-Poise)}

Se desarrolló un modelo numérico para comparar cálculos de concentración de BRV en el espacio tridimensional del ducto como se ilustra en la figura 4.

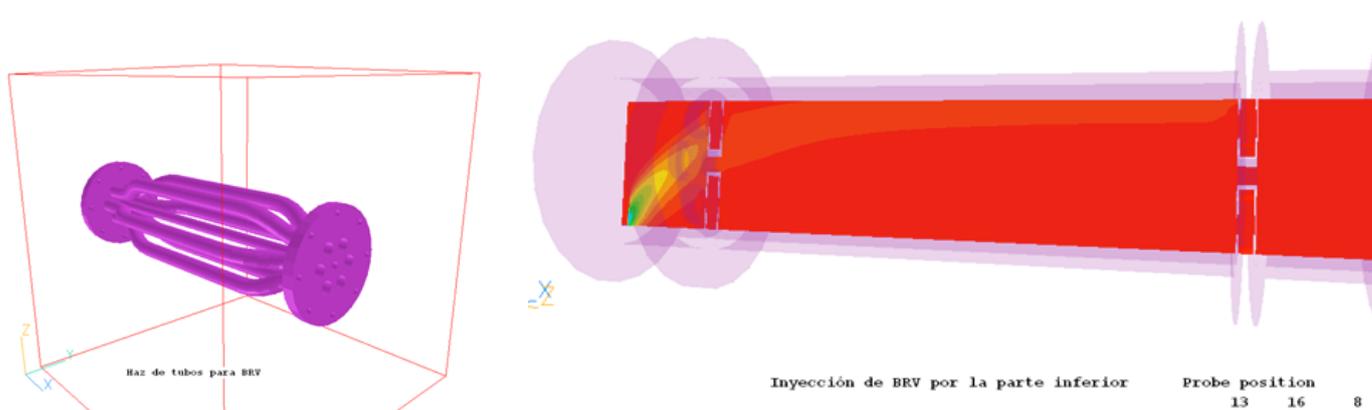


Figura 4. Se muestra el haz de tubos de la sección de muestra y la distribución de concentración de BRV en la sección entre dos secciones de muestreo (escala vertical deformada para visualizar mejor la variación con inyección de BRV en la parte inferior del ducto)

Con base en las mediciones, se obtuvo una buena correlación con las predicciones del modelo numérico como se observa en la siguiente Tabla:

Concentración de BRV (%)	Experimental	Modelado
haz No. 2, Tubo 6	6.5	6.3
haz No. 2, Tubo 1	9	6
haz No. 1, Tubo 1	9.5	7.7

Los resultados en el laboratorio con la reducción de presión del orden de 20% al dosificar el BRV, permitieron el diseño de un protocolo de prueba de campo en un ducto de 10" y 30 km de PEMEX para dosificar con 1.5% del bioreductor.

Los registros de campo tuvieron una variación notable según la hora y día; sin embargo, se han agrupado los promedios en tres períodos para las etapas antes, durante y después de la prueba. En la figura 5 se ilustra con círculos de un diámetro mayor, el promedio de los datos puntuales (diámetro pequeño). Se observa que el gasto promedio aumenta 9% con básicamente la misma presión de descarga de la bomba (59 bar). El beneficio económico neto derivado de la dosificación de BRV resultó evidente durante la prueba.

Como parte de la transferencia de tecnología, se generó un modelo simplificado para que el personal de PEMEX pudiese predeterminar la dosificación de BRV adecuada de acuerdo

con las condiciones de operación prescritas y el gasto requerido para el transporte por ducto.

La segunda etapa del proyecto que concluye en Julio de 2018, considera el efecto de flujo bifásico en la determinación de la reducción de arrastre en un ducto. Para ello se realizó la construcción de dos circuitos de 3", en el laboratorio del Instituto de Ingeniería y en el CICERM. En ambos circuitos se implementó la instrumentación de mayor complejidad para cuantificar la variación de presión, el esfuerzo cortante en la pared, el patrón de flujo que se establece, la fracción volumétrica de las dos fases (aire-líquido), las temperaturas y los gastos máxicos correspondientes.

Para atender la demanda creciente de energía, es previsible que en los siguientes lustros la producción de los hidrocarburos tendrá una importancia significativa en las fuentes económicamente viables. Como el crudo pesado es ahora más de 50% de la producción mexicana de petróleo, se realizó la investigación para optimizar el consumo energético y mejorar la seguridad operativa para el transporte por ducto de este aceite. De tal suerte, se podrá reducir la emisión de CO₂ al requerir menor potencia para el transporte.

El proyecto presentado está liderado por Arturo Palacio, y participan Enrique Guzmán, Edgardo J. Suárez, Jonathan Hernández, Diego Galaviz, Andrés Palacio, Juan C. Montiel y Alejandro Rodríguez. |

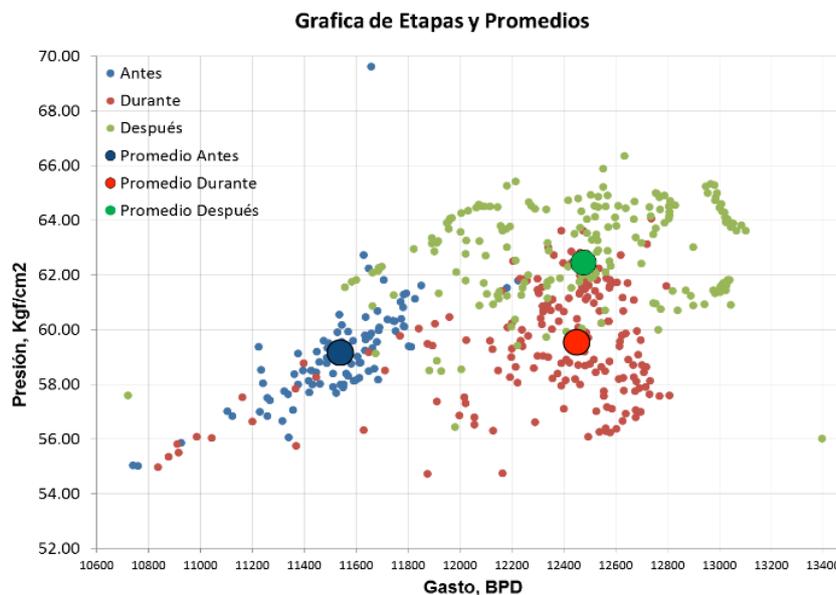


Figura 5. Resultados de la prueba de campo para un ducto de PEMEX de 10" y 30 km